

## Исследование структурно-физических характеристик бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения

*М.П. Нажуев, Е.А. Ефименко, Р.А. Цокало, А.С. Насевич, А.К. Халюшев*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Сегодня при разработке и исследовании новых конструкций требуется системный подход, включая проектирование, производство изделий и строительство. Дальнейшее развитие строительства идет по пути совершенствования конструкций и форм зданий, чему способствует улучшение физико-механических свойств строительных материалов. Применение высокопрочных бетона и сталей приводит к созданию более легких тонкостенных железобетонных конструкций и принципиально возможно лишь при совершенной технологии изготовления элементов. Поскольку при изготовлении железобетонных изделий центробежным способом образуются радиально направленные фильтрационные каналы, то именно в них проявление разрушения наиболее вероятно. Оно усугубляется еще и тем, что внутренний слой таких изделий оказывается более пористым, чем остальные слои бетона. Наличие такой структуры обусловлено даже при соблюдении всех требований к качеству исходных материалов, приготовлению бетонной смеси и использованию оптимальных режимов центрифугирования. Авторами в процессе подтверждения рабочей гипотезы в данном исследовании разработан способ введения заполнителя при центрифугировании, на основе которого были получены опытные образцы, характеризующиеся, по сравнению с контрольными, улучшенными физико-механическими и конструктивными свойствами; достигнуто повышение несущей способности центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения на стадии их изготовления за счет изменения характера технологического процесса изготовления с одностадийного на двухстадийный. Проверка гипотезы осуществлялась по определяемым приростам структурно-физических характеристик бетона образцов. Плотность бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения двухстадийного формования при всех трех соотношениях фракций оказалась выше, чем у бетона одностадийного формования. Водопоглощение при капиллярном подсосе бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения двухстадийного формования при всех трех соотношениях фракций оказалось ниже, чем у бетона одностадийного формования.

**Ключевые слова:** центрифугированный бетон, железобетонные колонны, фракции заполнителя, двухстадийная технология, кольцевое сечение, плотность, водопоглощение, структурно-физические свойства.

Сегодня при разработке и исследовании новых конструкций требуется системный подход, включая проектирование, производство изделий и строительство. Дальнейшее развитие строительства идет по пути совершенствования конструкций и форм зданий, чему способствует

---

улучшение физико-механических свойств строительных материалов. Применение высокопрочных бетона и сталей приводит к созданию более легких тонкостенных железобетонных конструкций и принципиально возможно лишь при совершенной технологии изготовления элементов [1].

Поскольку при изготовлении железобетонных изделий центробежным способом образуются радиально направленные фильтрационные каналы, то именно в них проявление разрушения наиболее вероятно. Оно усугубляется еще и тем, что внутренний слой таких изделий оказывается более пористым, чем остальные слои бетона [2,3]. Процесс коррозии для центрифугированных кольцевых изделий опасен тем, что их внутренние слои всегда менее прочны, чем наружные. Разрушение бетона протекает неконтролируемо во внутренней замкнутой полости, и отказ происходит практически неожиданно [4-7].

Первопричина снижения нормативного срока их службы кроется как в особенностях центробежной технологии, так и в своеобразии получаемых кольцевых конструкций.

Анализ технологии производства центрифугированных стоек, выполненный на Рязанском, Бесланском и Васильевском заводах железобетонных конструкций, показал, что в основном все центрифугированные стойки обладают неоднородной структурой по толщине стенки изделия. В производственных условиях установлено, что наличие неоднородной структуры бетона приводит к образованию продольных трещин как во внутренних, так и в наружных слоях [8-11].

Наличие такой структуры обусловлено даже при соблюдении всех требований к качеству исходных материалов, приготовлению бетонной смеси и использованию оптимальных режимов центрифугирования [12-14].

В России и за рубежом ведутся работы по изысканию способов улучшения структурных характеристик и физико-механических свойств

---

центрифугированного бетона [15,16]. В результате исследований И.Н. Ахвердова и других [17,18] был разработан ряд рекомендаций по совершенствованию конструкций и повышению плотности, однородности и стойкости центрифугированных бетонов.

Авторами в процессе подтверждения рабочей гипотезы в данном исследовании решены следующие задачи:

- разработка способа введения заполнителя при центрифугировании, на основе которого были получены опытные образцы, характеризующиеся, по сравнению с контрольными, улучшенными физико-механическими и конструктивными свойствами;

- повышение несущей способности центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения на стадии их изготовления за счет изменения характера технологического процесса изготовления с одностадийного на двухстадийный.

Проверка гипотезы осуществлялась по определяемым приростам структурно-физических характеристик бетона образцов.

Центрифугирование образцов кольцевого сечения при двухстадийном формовании осуществлялось путем отдельного введения крупного заполнителя по слоям, при этом сначала вводили часть растворной составляющей для формирования каркаса, состоящего из раствора, а затем вводили крупный заполнитель с различным соотношением фракций и уплотняли. Возможно чередование нескольких слоев с другой фракцией. Классический способ заключался в одностадийном формировании всего сечения из бетонной смеси, которую вводили целиком в форму и затем уплотняли. В таблице №1 представлены экспериментальные составы образцов центрифугированного бетона.

Таблица №1

Экспериментальные составы образцов центрифугированного бетона

---

№ состава	Соотношение фракций крупного заполнителя	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Осадка конуса, см
		Щебень фракции, мм		Песок	Цемент	Вода	
		5-10	10-20				
1	40/60	509,6	764,4	658	398	217	3,5
2	50/50	637	637	658	398	217	
3	60/40	764,6	509,6	658	398	217	

Плотность centrifугированных изделий определяли по ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения. Методы определения плотности». Результаты представлены в таблице №2 и на рис. 1.

Таблица №2

Свойства образцов centrifугированного бетона

№ состава	Способ формирования	Объем образца V <sub>0</sub> , см <sup>3</sup>	Масса сухого образца m, г	Масса водонасыщенного образца m <sub>1</sub> , г	Средняя плотность, ρ кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение W, %
1 (40/60)	двухстадийное	484,15	1097,05	1142,85	2262	4,17
2 (50/50)		491,30	1085,77	1134,80	2210	4,51
3 (60/40)		487,70	1053,43	1104,20	2160	4,82
4 (40/60)	одностадийное	504,60	1089,20	1151,20	2158	5,69
5 (50/50)		511,95	1095,10	1160,30	2139	5,95
6 (60/40)		497,80	1071,30	1135,30	2152	5,97

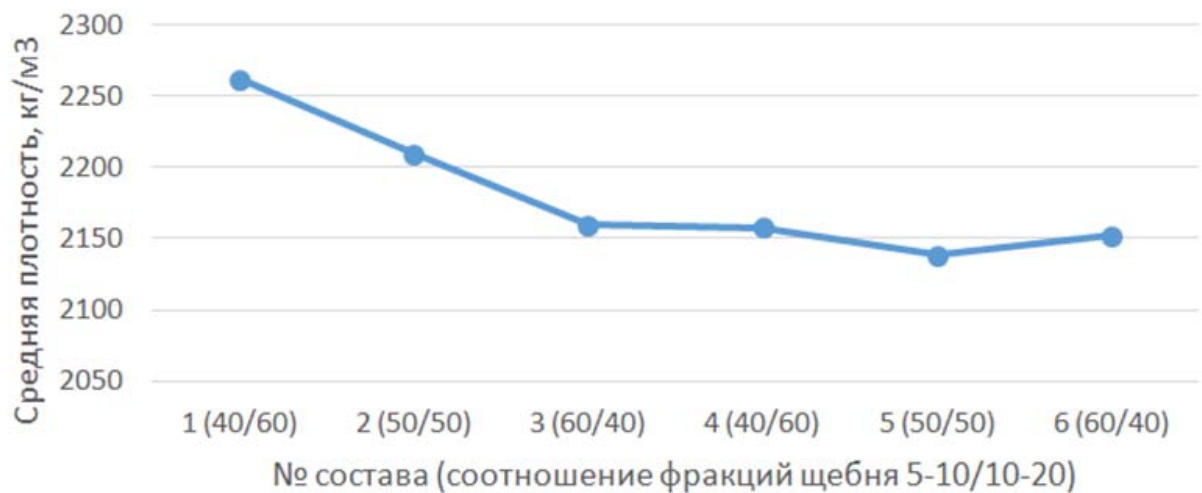


Рис. 1. – Исследование плотности бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения

Таким образом, плотность бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения двухстадийного формования при всех трех соотношениях фракций оказалась выше, чем у бетона одностадийного формования. Наилучший показатель продемонстрировал состав №1.

Водопоглощение при капиллярном подсосе определяли по ГОСТ 31356-2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний».

Водопоглощение при капиллярном подсосе,  $W_{\text{кп}}$  кг/(м<sup>2</sup>·ч<sup>0,5</sup>), определяли по формуле:

$$W_{\text{кп}} = k_w \frac{m_2 - m_1}{S}, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, кг;

$m_2$  – масса образца после насыщения водой, кг;

$S$  – площадь увлажняемой грани образца, м<sup>2</sup>;

$k_w$  – коэффициент, учитывающий время насыщения образца и равный  $\frac{1}{\sqrt{24}}$ , ч<sup>-0,5</sup> = 4,89.

Результаты исследования водопоглощения при капиллярном подсосе образцов центрифугированного бетона представлены в таблице №3.

Результаты исследования водопоглощения при капиллярном подсосе образцов центрифугированного бетона в торцевом направлении представлены на рис. 2. Результаты исследования водопоглощения при капиллярном подсосе образцов центрифугированного бетона в продольном направлении представлены на рис. 3.

Таблица №3

Водопоглощение при капиллярном подсосе

№ состава	Расположение образца	Масса образцов в сухом состоянии $m_1$ , кг	Масса образца после насыщения водой $m_2$ , кг	Площадь, $S$ , м <sup>2</sup>	Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{кп}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·ч <sup>0,5</sup> )
1 (40/60)	в торцевом направлении	2,179	2,211	0,0254	6,15
	в продольном	2,179	2,238	0,0469	6,04
2 (50/50)	в торцевом направлении	2,184	2,212	0,022	6,21
	в продольном	2,184	2,271	0,069	6,17
3 (60/40)	в торцевом направлении	2,194	2,217	0,0176	6,39
	в продольном	2,194	2,280	0,0673	6,25
4 (40/60)	в торцевом направлении	2,278	2,306	0,020	6,82
	в продольном	2,278	2,331	0,042	6,13
5 (50/50)	в торцевом направлении	2,290	2,317	0,0184	7,16
	в продольном	2,290	2,358	0,053	6,24
6 (60/40)	в торцевом направлении	2,290	2,320	0,020	7,21
	в продольном	2,290	2,370	0,061	6,39



Рис. 2. – Результаты исследования водопоглощения при капиллярном подсосе образцов центрифугированного бетона в торцевом направлении



Рис. 3. – Результаты исследования водопоглощения при капиллярном подсосе образцов центрифугированного бетона в продольном направлении

Таким образом, водопоглощение при капиллярном подсосе бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения двухстадийного формирования при всех трех соотношениях фракций оказалось ниже, чем у бетона одностадийного формирования. Наилучший показатель вновь продемонстрировал состав №1.

Таким образом, была подтверждена рабочая гипотеза и решены задачи исследования.

### Литература

1. Пастушков Г.П. Многоэтажные каркасные здания с несущими железобетонными центрифугированными элементами: дис. докт. техн. наук: 05.23.01, 05.23.05. Минск, 1994. С. 7-18.
  2. Петров В.П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1983. 175 с.
  3. Шурыгин В.П., Невский В.А., Ткаченко Г.А., Петров В.П. О возможности создания структуры центрифугированного бетона повышенной стойкости // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения». Ростов-на-Дону, 1981. С. 48-50.
  4. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
  5. Раджан Сувал Свойства центрифугированного бетона и совершенствование проектирования центрифугированных железобетонных стоек опор ЛЭП: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1997. 267 с.
  6. Штайерман Ю. Я. Центрифугированный бетон. Тифлис: Изд-во «Техника да Шрома», 1933. 107 с.
-



7. Танцюра В.А. Совершенствование технологии центрифугированных изделий // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1992. №1. С. 131-134.

8. Тарасов В.В., Садовский Ю.И., Телеш Е.А. Новая технология изготовления центрифугированных железобетонных элементов // Тезисы докладов на международной конференции «Инженерные проблемы современного бетона и железобетона». Минск: БелНИИС, 1997. С. 224-230.

9. Подуровский Н.И., Желтухина Л.И. Повышение стойкости изделий из центрифугированного бетона // Тез. докл. Всесоюзн. конф. Ростов-на-Дону, 1981. С. 100-102.

10. Pooya Alae, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

11. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

12. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Стельмах С.А. Изучение опыта регулирования свойств строительных изделий и конструкций путем направленного формирования их вариатропной структуры // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).

13. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Сердюков К.В., Пестриков М.М., Яновская А.В. Влияние некоторых характеристик применяемого крупного заполнителя на свойства тяжелого бетона, предназначенного для изготовления центрифугированных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017, № 10. С. 15-20.

14. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из

---

центрифугированного бетона // «Науковедение» Том 9, №4 (2017)  
<http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf>.

15. Чернильник А.А., Щербань Е.М., Стельмах С.А., Чебураков С.В., Ельшаева Д.М., Доценко Н.А. Рецептурно-технологические аспекты получения высококачественных центрифугированных бетонов // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5525](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5525).

16. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Исследование различных типов центрифуг и режимов уплотнения бетонных смесей для изготовления образцов кольцевого сечения // Вестник СевКавГТИ, 2017, Вып. №3 (30). С. 134-137.

17. Ахвердов И.Н. Узловые вопросы теории центробежного формования и уплотнения бетонной смеси // Республиканское научно-техническое совещание «Технология безвибрационного формования железобетонных изделий». Минск, 1979. С. 3-12.

18. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: 1981. С. 383-392.

### References

1. Pastushkov G.P. Mnogoetazhnye karkasnye zdaniya s nesushchimi zhelezobetonnyimi centrifugirovannymi elementami [Multi-storey frame buildings with bearing reinforced concrete centrifuged elements] dis. ... dokt. tech. nauk: 05.23.01, 05.23.05. Minsk, 1994. pp. 7-18.

2. Petrov V.P. Tehnologiya i svoystva centrifugirovannogo betona s kombinirovannym zapolnitelem dlya stoek opor kontaktnoy seti [Technology and properties of centrifuged concrete with a combined aggregate for supports of the contact network]: dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1983. 175 p.

3. Shurygin V.P., Nevskiy V.A., Tkachenko G.A., Petrov V.P. Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferencii "Povyshenie dolgovechnosti konstrukciy"

---

vodokhozyaystvennogo naznacheniya" [Abstracts of the All-Union Conference "Improving the durability of water structures"]. Rostov-on-Don, 1981, pp. 48-50.

4. Romanenko E.Yu. Vysokoprochnye betony s mineral'nymi poristymi i voloknistymi dobavkami dlya izgotovleniya dlinnomernykh centrifugirovannykh konstrukciy [High-strength concretes with mineral porous and fibrous additives for the manufacture of long-length centrifuged structures]: dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1989. 179 p.

5. Radzhan Suval Svoystva tsentrifugirovannogo betona i sovershenstvovanie proektirovaniya tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh stoek opor LEP [Properties of centrifuged concrete and perfection of design of centrifuged reinforced concrete pillars of power transmission lines]: dis... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1997. 267 p.

6. Shtayerman Yu.Ya. Centrifugirovannyi beton [Centrifuged concrete]. Tiflis: Izd-vo "Technika da Shroma", 1933. 107 p.

7. Tancyura V.A. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1992. №1. pp. 131-134.

8. Tarasov V.V., Sadovskiy Yu.I., Telesh E.A. Tezisy dokladov na mezhdunarodnoy konferencii "Inzhenernye problemy sovremennogo betona i zhelezobetona" ["Theses of reports at the international conference "Engineering problems of modern concrete and reinforced concrete"]. Minsk, 1997, pp. 224-230.

9. Podurovskiy N.I., Zheltukhina L.I. Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferencii (Abstracts of the All-Union Conference). Rostov-on-Don, 1981, pp. 100-102.

10. Pooya Alae, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.



11. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

12. Nazhuev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Stel'makh S.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).

13. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Serdyukov K.V., Pestrikov M.M., Yanovskaya A.V. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhov. 2017. №10. pp. 15-20.

14. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Naukovedenie, 2017, №4. URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).

15. Chernil'nik A.A., Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Cheburakov S.V., El'shaeva D.M., Dotsenko N.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2019, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5525](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5525).

16. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Holodnyak M.G., Shcherban' E.M. Scientific bulletin SevKavGTI. 2017. №3 (30). pp. 134-137.

17. Ahverdov I.N. Respublikanskoe nauchno-tehnicheskoe soveshchanie "Tehnologiya bezvibracionnogo formovaniya zhelezobetonnyh izdeliy" [Republican scientific and technical meeting "Vibration-free molding technology for reinforced concrete products"]. Minsk, 1979, pp. 3-12.

18. Ahverdov I.N. Osnovy fiziki betona [Basics of Concrete Physics]. Moscow: 1981. pp. 383-392.